

## Đánh giá tỉ lệ chuyển giao gói tin của hệ thống chiếu sáng trong nhà sử dụng công nghệ Bluetooth Mesh

Phan Văn Hải, Nguyễn Quốc Cường\*

Trường Điện-Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội.

\*Email: cuong.nguyenquoc@hust.edu.vn.

Nhận bài ngày 01/9/2021; Hoàn thiện ngày 19/9/2021; Chấp nhận đăng ngày 10/4/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.78.2022.20-27>

### TÓM TẮT

Khi công nghệ truyền thông không dây Bluetooth mạng lưới (Bluetooth Mesh: BM) ra đời, nó đã được ứng dụng vào rất nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong đó, chiếu sáng trong nhà là một trong những ứng dụng chính được hỗ trợ bởi BM. Với một hệ thống mạng không dây, một thông số quan trọng để đánh giá chất lượng của hệ thống là tỉ lệ chuyển giao gói tin. Trong BM, có nhiều thông số cấu hình ảnh hưởng đến tỉ lệ này như các cấu hình về thời gian, khoảng thời gian, số lần truyền tin nhắn, giá trị TTL (Time-To-Live), tính năng chuyển tiếp,... Do đó, bài báo này sẽ mô phỏng một hệ thống chiếu sáng sử dụng BM môi trường trong nhà với các cấu hình TTL và tính năng chuyển tiếp khác nhau, từ đó đưa ra đánh giá về sự ảnh hưởng của các cấu hình, tính năng này đến tỉ lệ chuyển giao gói tin.

**Từ khóa:** Truyền thông không dây; Bluetooth kiểu mạng lưới (Bluetooth mesh); Chiếu sáng thông minh.

### 1. MỞ ĐẦU

Vào giữa năm 2017, Bluetooth đưa ra phiên bản Bluetooth mạng lưới (BM), đây là bước tiến nổi bật của công nghệ Bluetooth, giúp nó được sử dụng trong nhiều lĩnh vực và ứng dụng công nghiệp, bao gồm cả chiếu sáng thương mại [1]. BM có nhiều đặc điểm phù hợp với các hệ thống chiếu sáng như về mặt kỹ thuật, nó sử dụng cơ chế nhảy tần, giúp giảm ảnh hưởng nhiễu gây ra bởi các thiết bị không dây khác; trong chiếu sáng, các thiết bị thường được điều khiển theo nhóm và BM hỗ trợ tốt chức năng này với cơ chế xuất bản/đăng ký cùng với cơ chế gửi dữ liệu ngập lụt được quản lý (Managed Flooding); về mặt năng lượng, BM tiêu thụ ít năng lượng, cho phép các thiết bị bị hạn chế về năng lượng có thể hoạt động lâu hơn; về bảo mật thì trong BM, bảo mật là yêu cầu bắt buộc, và nó sử dụng nhiều cơ chế bảo mật nhằm bảo mật toàn bộ mạng. Ngoài ra, hầu hết các thiết bị di động như điện thoại thông minh, máy tính bảng đều hỗ trợ Bluetooth năng lượng thấp (Bluetooth Low Energy: BLE), do đó, người dùng dễ dàng sử dụng các thiết bị này để quản lý, điều khiển và giám sát hệ thống BM [1]. Những hệ thống chiếu sáng, nhất là trong nhà, văn phòng hay trung tâm thương mại là những hệ thống có số lượng thiết bị kết nối rất lớn, hàng trăm đến hàng nghìn thiết bị và chúng thường bố trí theo dạng lưới, mật độ cao. Chính vì vậy, chiếu sáng được coi là ứng dụng cơ bản mà BM hướng đến. Trong chuẩn BM có định nghĩa, xây dựng riêng các mô hình cho ứng dụng chiếu sáng, giúp việc áp dụng BM vào ứng dụng này trở nên đơn giản, linh hoạt và thống nhất giữa các nhà sản xuất khác nhau [2].

Hệ thống mạng chiếu sáng thông minh sử dụng BM được coi là một hệ thống mạng cảm biến không dây. Và đối với mạng cảm biến không dây, độ tin cậy của mạng là yêu cầu cực kỳ quan trọng. Độ tin cậy liên quan đến nhiều vấn đề và chịu ảnh hưởng bởi nhiều thông số, như tỉ lệ chuyển giao dữ liệu, độ trễ. Ở mức đơn giản nhất, một hệ thống tin cậy là khi mỗi gói tin được gửi bởi một thiết bị sẽ được nhận chính xác bởi thiết bị nhận mong muốn. Đối với người dùng cuối, thông số có ý nghĩa nhất để đánh giá độ tin cậy là tỉ lệ chuyển giao gói tin (PDR: Packet Delivery Ratio) hoặc tỉ lệ gói tin lỗi (bằng  $1 - \text{PDR}$ ) [3]. PDR được tính bằng phần trăm của tổng số gói tin gửi đi được nhận thành công trên tổng số gói tin gửi đi.

Trong thiết kế, phát triển sản phẩm, các phương pháp mô hình hóa và mô phỏng được sử dụng bởi các nhà khoa học, kỹ sư để có cái nhìn sâu sắc về hành vi của hệ thống, từ đó giúp thời

gian đưa sản phẩm ra thị trường nhanh hơn và thiết kế mạnh mẽ hơn. Ưu điểm của việc sử dụng các công cụ mô hình hóa và mô phỏng là tiết kiệm chi phí, cung cấp khả năng thử nghiệm các kịch bản mà khó có thể đạt được nếu sử dụng phương pháp thực nghiệm trên thiết bị, hệ thống thực [4]. Sử dụng mô phỏng cũng cho phép thu thập được nhiều thông tin về hiệu suất, độ tin cậy của hệ thống như PDR, tỉ lệ lỗi bit (Bit-error Rate), thông lượng,... Do đó, có thể thấy được, mô phỏng có vai trò quan trọng trong quá trình thiết kế, phát triển sản phẩm, hệ thống bao gồm các hệ thống sử dụng công nghệ mạng BM.

Từ các vấn đề trên, bài báo này sẽ sử dụng công cụ mô phỏng để mô phỏng một hệ thống chiếu sáng trong nhà sử dụng công nghệ mạng BM. Các kịch bản mô phỏng sẽ thay đổi các cấu hình về giá trị TTL (Time-To-Live) và tính năng chuyển tiếp, từ đó, đưa ra đánh giá về tỉ lệ chuyển giao gói tin thu được.

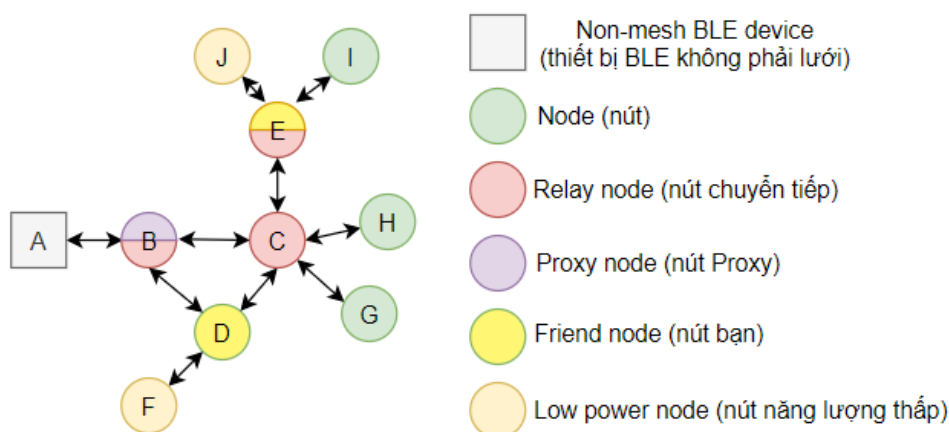
Bài báo có cấu trúc gồm 5 phần: phần mở đầu, tiếp theo là giới thiệu về công nghệ mạng Bluetooth mesh ở phần 2, phần 3 trình bày kịch bản thử nghiệm, phần 4 là triển khai và kết quả thử nghiệm, phần cuối cùng là kết luận và hướng phát triển.

## **2. CÔNG NGHỆ MẠNG BLUETOOTH MESH**

### **2.1. Một số khái niệm, thuật ngữ trong Bluetooth mesh**

Các thiết bị thuộc về một mạng BM, cụ thể các thiết bị có khả năng truyền và nhận bản tin, được gọi là nút (Node) hoặc thiết bị được cấp phép (Provisioned Device), và các thiết bị khác gọi là thiết bị không được cấp phép (Unprovisioned Device). Quá trình cấp phép là quá trình chuyển đổi một thiết bị không được cấp phép thành một nút.

Ngoài ra, phần tử (Element) là một mục có thể định địa chỉ trong nút. Một nút phải có ít nhất một phần tử. Liên quan đến trao đổi dữ liệu giữa các phần tử, việc trao đổi tuân theo mô hình xuất bản/đăng ký, và có 3 loại địa chỉ được sử dụng trong mạng là: đơn (Unicast), nhóm (Group) và ảo (Virtual). Thiết bị gửi sẽ xuất bản một tin nhắn tới một địa chỉ nhất định. Nếu địa chỉ này là địa chỉ đơn, đối tượng đích sẽ là một phần tử đơn nằm bên trong một nút. Nhưng nếu địa chỉ là địa chỉ nhóm hoặc địa chỉ ảo, các phần tử muốn nhận tin nhắn sẽ cần phải đăng ký tới địa chỉ nhóm hoặc ảo đó, và chỉ các phần tử đã đăng ký mới xử lý tin nhắn đó.



**Hình 1.** Ví dụ về cấu trúc liên kết và các loại nút trong mạng BM.

Các nút trong mạng BM có một số tính năng tùy chọn, bao gồm:

- Nút chuyển tiếp (Relay Node): là nút nhận và truyền lại tin nhắn nhận được, cho phép mở rộng phạm vi của mạng. Theo cách này, nút hỗ trợ tính năng chuyển tiếp sẽ phát (Broadcast) các tin nhắn tới tất cả các nút trong phạm vi của nó với thông số TTL. TTL sẽ giảm dần với mỗi lần truyền lại. Vì vậy, một tin nhắn chỉ được truyền lại khi TTL của nó lớn hơn một.

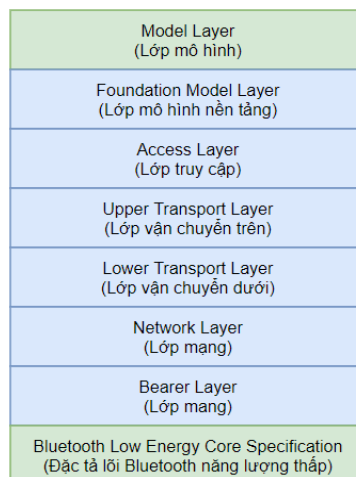
Ngoài ra, các tin nhắn được lưu vào bộ nhớ đệm, và khi một tin nhắn nhận được đã tồn tại trong bộ nhớ đệm, tin nhắn đó sẽ tự động bị loại bỏ và không được truyền lại. Ví dụ như ở hình 1, vì nút C có tính năng chuyển tiếp nên nút H có thể nhận được tin nhắn do nút B truyền đi.

- Nút công suất thấp (Low Power Node: LPN) và nút bạn (Friend Node): Nút công suất thấp là nút có khả năng hoạt động trong mạng với chu kỳ hoạt động trao đổi tin nhắn giảm đáng kể. Nói chung, chúng là những nút cần tiết kiệm năng lượng sử dụng do sử dụng nguồn pin hạn chế. Thông thường, chúng dành phần lớn thời gian để truyền dữ liệu, có nghĩa là, chúng là người gửi (ví dụ như cảm biến nhiệt độ gửi dữ liệu theo định kỳ hoặc khi vượt ngưỡng cài đặt), mặc dù đôi khi chúng có thể nhận tin nhắn. Để cho phép một nút LPN giảm chu kỳ trao đổi tin nhắn và tiết kiệm năng lượng, nó cần có mối quan hệ bạn bè với một nút khác, được gọi là nút bạn. Nút bạn hỗ trợ tính năng kết bạn, hỗ trợ nút LPN trong việc tiếp nhận tin nhắn bằng cách lưu trữ và chuyển tiếp các tin nhắn được gửi đến nút đó. Chuyển tiếp bởi nút bạn được thực hiện theo yêu cầu, khi LPN thăm dò ý kiến của nút bạn về các tin nhắn đang chờ để gửi cho nó. Ví dụ ở hình 1, nút F là nút LPN và nút D là nút bạn của nút F, nên các tin nhắn gửi tới nút F sẽ được lưu trữ tại nút D, và nút D sẽ gửi cho nút F khi nút F hỏi.
- Nút Proxy (Proxy Node): nút hỗ trợ tính năng “Proxy” có khả năng chuyển tiếp các tin nhắn giữa các thiết bị Bluetooth không phải là BM và mạng BM. Ví dụ như ở hình 1, một thiết bị BLE A không phải thuộc lưới vẫn có thể trao đổi tin nhắn với mạng lưới thông qua nút B hỗ trợ tính năng Proxy.

Mỗi nút hỗ trợ một tập hợp các trạng thái cấu hình liên quan đến khả năng và hành vi của nút trong mạng. Ví dụ, các tính năng được hỗ trợ bởi nút (Proxy, chuyển tiếp,...), địa chỉ mà nút đăng ký/xuất bản, các khóa bảo mật,...

Trong đặc tả BM có sử dụng thuật ngữ là mô hình (Model). Nó liên quan đến xử lý dữ liệu giữa các nút để hỗ trợ các ứng dụng trong các kịch bản khác nhau, và định nghĩa hành vi của các nút được liên kết với chức năng cụ thể. Mỗi phần tử có thể ở các trạng thái (State) khác nhau cũng có các thuộc tính liên quan. Ví dụ, một đèn có thể được biểu diễn thông qua trạng thái bật tắt chung “Generic OnOff”. Điều đáng chú ý là các trạng thái chung có thể tái sử dụng và cho phép tạo ra các mô hình mới nhanh chóng. Các trạng thái có thể được quản lý bằng các loại tin nhắn: tin nhắn “GET” và “SET” để yêu cầu và thay đổi giá trị của chúng, và tin nhắn “STATUS” có thể được gửi để phản hồi yêu cầu “GET”, yêu cầu “SET” có xác thực, hoặc độc lập như một tin nhắn không được yêu cầu [5].

## 2.2. Tổng quan về kiến trúc Bluetooth mesh



Hình 2. Kiến trúc Bluetooth mạng lưới.

BM là một giao thức mạng sử dụng ngăn xếp giao thức BLE làm lõi chức năng. Theo đặc tả Mesh Profile [6], ngăn xếp giao thức BM có kiến trúc phân lớp gồm các lớp như hình 2. Cụ thể:

- Lớp mô hình: Xác định các mô hình được sử dụng để chuẩn hóa hoạt động của các kịch bản người dùng, được định nghĩa trong đặc tả Bluetooth Mesh Model [7] hoặc các đặc tả lớp cao hơn khác.
- Lớp mô hình nền tảng: Xác định các trạng thái, tin nhắn và các mô hình cần thiết để cấu hình và quản lý mạng lưới.
- Lớp truy cập: Xác định cách các ứng dụng lớp cao hơn có thể sử dụng lớp vận chuyển trên; xác định định dạng của dữ liệu ứng dụng; xác định và kiểm soát việc mã hóa và giải mã dữ liệu ứng dụng được thực hiện trong lớp vận chuyển trên. Nó kiểm tra xem dữ liệu ứng dụng nhận được có đúng khóa mạng và khóa ứng dụng không trước khi chuyển đến lớp cao hơn xử lý.
- Lớp vận chuyển trên: Mã hóa, giải mã và xác thực dữ liệu ứng dụng, cung cấp tính bảo mật của tin nhắn truy cập. Nó cũng xác định cách các tin nhắn kiểm soát vận chuyển được sử dụng để quản lý lớp vận chuyển trên giữa các nút.
- Lớp vận chuyển dưới: Xác định cách các tin nhắn của lớp vận chuyển trên được phân đoạn hay lắp ráp bởi nhiều đơn vị dữ liệu của lớp vận chuyển dưới, để gửi các tin nhắn lớn của lớp vận chuyển trên đến các nút khác. Nó cũng xác định tin nhắn điều khiển để quản lý việc phân đoạn và lắp ráp.
- Lớp mạng: Xác định cách tin nhắn vận chuyển được giải quyết đối với một hoặc nhiều phần tử. Nó xác định định dạng tin nhắn mạng cho phép dữ liệu ở lớp vận chuyển được vận chuyển bởi lớp mạng; quyết định có chuyển tiếp tin nhắn, chấp nhận hay từ chối xử lý tin nhắn; xác định cách tin nhắn được mã hóa và xác thực.
- Lớp mang: Xác định cách trao đổi tin nhắn mạng giữa các nút. Có 2 bộ mang được định nghĩa là bộ mang quảng bá và "GATT".
- Đặc tả lõi Bluetooth năng lượng thấp: Sử dụng ngăn xếp Bluetooth năng lượng thấp.

### **2.3. Một số cấu hình và tham số ảnh hưởng đến độ tin cậy của mạng**

Phụ thuộc vào việc lựa chọn cấu hình và triển khai phần mềm, nhiều vấn đề có thể ảnh hưởng đến hiệu suất, độ tin cậy của mạng BM. Một số cấu hình đó là khả năng lưu trữ của bộ đệm tin nhắn; các tham số về thời gian, khoảng thời gian, số lần truyền lại của tin nhắn xuất bản, tin nhắn chuyển tiếp và tin nhắn lớp mạng; loại yêu cầu có xác nhận hay không xác nhận; giá trị TTL; tính năng chuyển tiếp,... [5] Một số tham số cấu hình hay tính năng nếu điều chỉnh không chính xác, có thể khiến mạng hoạt động kém hiệu quả, thậm chí làm gián đoạn thông tin liên lạc của mạng. Trong số các cấu hình trên, lựa chọn giá trị TTL và lựa chọn tính năng chuyển tiếp là vấn đề đáng để quan tâm:

- Lựa chọn giá trị TTL: Kết quả của việc cài đặt sai tham số này có thể dẫn đến các tin nhắn không đến đích khi TTL thấp hay dẫn đến sự quá tải của mạng khi TTL cao. Mặt khác, khi các tin nhắn xác nhận được sử dụng (ví dụ tin nhắn "STATUS"), cấu hình TTL cho tin nhắn xác nhận phải phù hợp với kích thước của mạng.
- Lựa chọn tính năng chuyển tiếp: Việc chọn nút nào của mạng hoạt động như nút chuyển tiếp sẽ ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng, độ bão hòa và độ tin cậy của mạng [5].

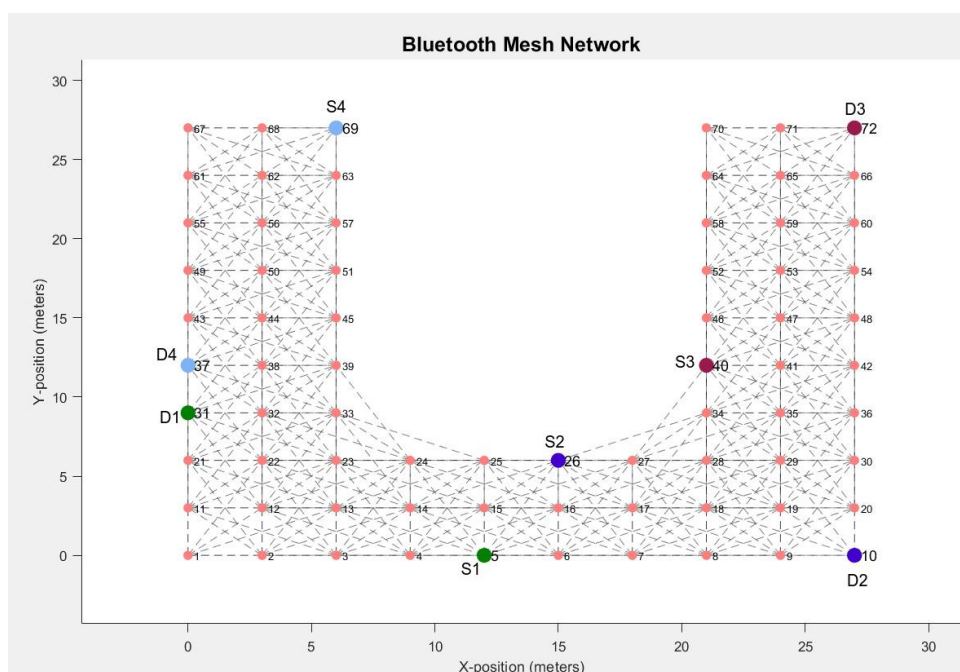
## **3. KỊCH BẢN THỬ NGHIỆM**

Trong một hệ thống chiếu sáng sử dụng BM, các thiết bị đèn, công tắc thường hoạt động là các nút chuyển tiếp hoặc không chuyển tiếp và chúng thường được lắp đặt, sắp xếp theo dạng lưới, trong khi các cảm biến thường hoạt động là nút LPN. Bài báo này sẽ tập trung vào mô phỏng một hệ thống mạng BM chỉ bao gồm thiết bị đèn và công tắc, tức là chỉ xét đến các nút chuyển tiếp hoặc không chuyển tiếp, không xét đến các nút LPN, Friend và Proxy. Mạng BM được triển khai trong một tòa nhà hình chữ U - là một trong những dạng nhà phổ biến trong thực

tế như ở hình 3. Bài báo sẽ thực hiện mô phỏng một số kịch bản để đánh giá tỉ lệ chuyển giao gói tin trong mạng với các cấu hình về TTL và số lượng nút chuyển tiếp khác nhau. Loại tin nhắn được gửi từ nút nguồn tới nút đích là loại tin nhắn không xác thực với địa chỉ của tin nhắn là địa chỉ đơn, chính là địa chỉ của nút đích. Chi tiết các thông số của mạng sẽ mô phỏng được đưa ra trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số mô phỏng mạng.

Thông số	Giá trị
Số lượng nút	72
Các cặp nút nguồn-đích	5-31; 26-10; 40-72; 69-37
Tổng số gói tin gửi bởi mỗi nút nguồn	30
Tốc độ gửi gói tin của nút nguồn	3 gói tin/giây
Khoảng thời gian truyền lớp mạng	60 ms
Khoảng thời gian truyền lại gói tin chuyển tiếp	60 ms
Khoảng thời gian quảng bá	20 ms
Khoảng thời gian quét	30 ms
Hệ số tạp âm (Noise figure)	0 dB
Công suất truyền	0 dBm
Phạm vi nhận dữ liệu của nút	7 m
Khoảng cách giữa 2 nút liền kề theo trục tung hoặc hoành	3 m



**Hình 3.** Sơ đồ hệ thống chiếu sáng sử dụng Bluetooth mạng lưới trong tòa nhà chữ U. Đường nét đứt nối giữa 2 nút bất kỳ biểu diễn chúng trong phạm vi truyền-nhận của nhau. Các cặp nút nguồn-đích tương ứng là (S1,D1), (S2,D2), (S3,D3), (S4,D4), (S5,D5).

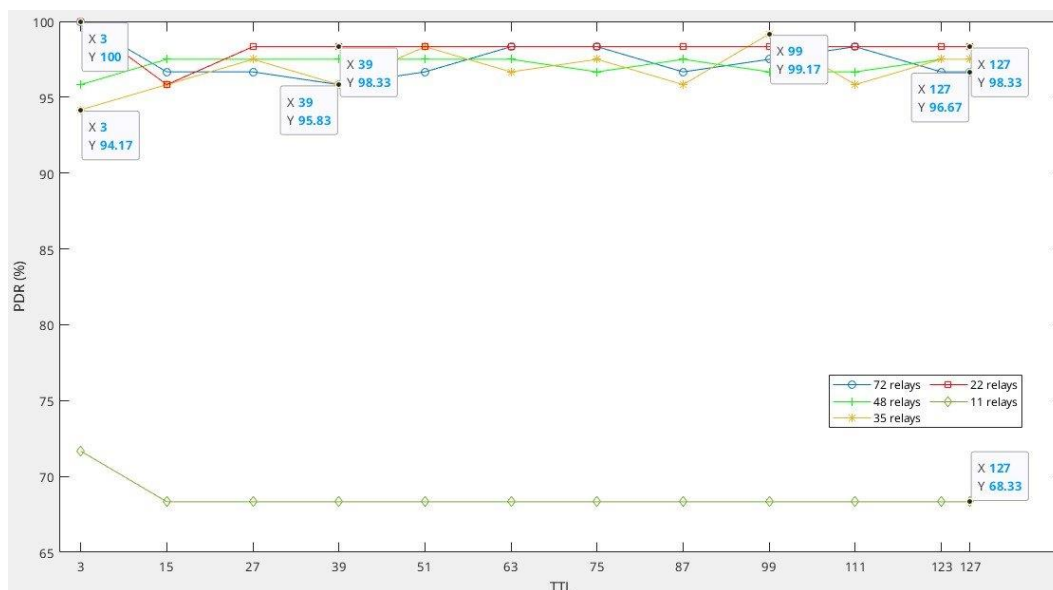
Các kịch bản mô phỏng là một số trường hợp khác nhau về cách chọn và số lượng hay tỉ lệ nút chuyển tiếp có trong mạng. Cụ thể, có 5 kịch bản thử nghiệm như sau:

- Kịch bản 1: chọn khoảng 15% tổng số nút làm nút chuyển tiếp, cụ thể chọn 11 nút chuyển tiếp là {69, 57, 45, 33, 13, 25, 27, 29, 40, 52, 64}.
- Kịch bản 2: chọn khoảng 30% tổng số nút làm nút chuyển tiếp, cụ thể chọn 22 nút chuyển tiếp là {13, 4, 24, 22, 12, 33, 45, 49, 56, 57, 50, 16, 7, 18, 9, 35, 48, 53, 52, 60, 64, 65}.
- Kịch bản 3: chọn khoảng 50% tổng số nút làm nút chuyển tiếp, cụ thể chọn 35 nút chuyển tiếp là {67, 62, 57, 55, 50, 45, 43, 38, 33, 31, 22, 13, 11, 2, 23, 14, 5, 25, 16, 7, 27, 18, 9, 34, 29, 20, 46, 41, 36, 58, 53, 48, 70, 65, 60}.
- Kịch bản 4: chọn khoảng 65% tổng số nút làm nút chuyển tiếp, cụ thể chọn 48 nút chuyển tiếp là {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 21, 31, 37, 43, 49, 55, 61, 67, 20, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 69, 63, 57, 51, 45, 39, 33, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 34, 40, 46, 52, 58, 64, 70}.
- Kịch bản 5: chọn 100% tổng số nút làm nút chuyển tiếp, tức là tất cả 72 nút trong mạng đều là nút chuyển tiếp.

Đối với mỗi kịch bản, sẽ tiến hành mô phỏng với các cấu hình TTL khác nhau là {3, 15, 27, 39, 51, 63, 75, 87, 99, 111, 123, 127}. Kết quả của mỗi lần mô phỏng là giá trị PDR.

#### 4. TRIỂN KHAI VÀ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Mặc dù nhiều nghiên cứu đã được công bố về giao thức BLE, nhưng chỉ đến năm 2019 mới có một công cụ mô phỏng hỗ trợ tính toán hiệu suất ở cấp mạng, đó là hộp công cụ “Communications Toolbox Library for Bluetooth Protocol”, lần đầu tiên được giới thiệu trong phiên bản R2019 của MATLAB [8]. Hộp công cụ này cung cấp các chức năng tuân theo tiêu chuẩn và các ví dụ tham khảo để thiết kế, mô hình hóa, mô phỏng và thử nghiệm hệ thống truyền thông Bluetooth. Thư viện hỗ trợ mô hình lớp vật lý, mô hình lớp giao thức, mô hình mạng lưới, mô phỏng mức liên kết,... Đối với Bluetooth mesh, hộp công cụ cho phép mô hình, mô phỏng và phân tích mạng và ngăn xếp giao thức Bluetooth mesh với các ví dụ đi kèm, trong đó có ví dụ về đánh giá và phân tích tỉ lệ chuyển giao gói tin [9]. Do vậy, ở đây sẽ sử dụng hộp công cụ này của MATLAB, cụ thể là sử dụng ví dụ về đánh giá và phân tích tỉ lệ chuyển giao gói tin mà MATLAB cung cấp [10], đồng thời phát triển thêm một số chức năng khác để ứng dụng vào mô phỏng các kịch bản đã nêu ở phần trên.



**Hình 4.** Đồ thị PDR theo TTL ở các kịch bản khác nhau về số lượng nút chuyển tiếp.

Kết quả mô phỏng được biểu diễn trong hình 4. Dựa vào kết quả thu được, có thể thấy rằng, giá trị cấu hình TTL có ảnh hưởng đáng kể tới PDR. Ví dụ ở kịch bản 35 nút chuyển tiếp, PDR khi TTL = 3 là 99.17% đã giảm 5% khi TTL = 99, tức là chỉ còn 94.17%. Cấu hình giá trị TTL mặc định trong BM là 127 không đảm bảo việc sẽ cho PDR tốt nhất vì ở kịch bản 72 nút chuyển tiếp, khi TTL = 127 thì PDR = 96.67% trong khi với TTL = 3, PDR đã tăng lên tối đa là 100%. Đối với việc lựa chọn tính năng chuyển tiếp trong mạng, việc lựa chọn này có ảnh hưởng nhiều tới PDR. Ví dụ ở trường hợp TTL = 127, chênh lệch PDR giữa kịch bản 22 nút chuyển tiếp (PDR = 98.33%) và 11 nút chuyển tiếp (PDR = 68.33%) lên tới 30%. Cấu hình mặc định là tất cả các nút trong mạng đều là nút chuyển tiếp sẽ không đảm bảo việc sẽ cho PDR tốt nhất. Ví dụ cùng với TTL = 39, kịch bản mặc định là 72 nút chuyển tiếp có PDR = 95.83% nhỏ hơn so với kịch bản 22 nút chuyển tiếp với PDR = 98.33%. Cũng từ kết quả và các nhận xét trên, có thể rút ra kết luận rằng: trong mạng BM, để thu được PDR tốt thì cần có sự lựa chọn đồng thời giá trị TTL và các nút chuyển tiếp phù hợp, các cấu hình mặc định như TTL = 127 và tất cả các nút đều là nút chuyển tiếp sẽ không đảm bảo PDR tốt nhất. Ví dụ, đối với mạng BM đang mô phỏng, chỉ cần chọn TTL = 3 và 22 nút chuyển tiếp đã có thể thu được PDR tối đa là 100%, trong khi nếu với cấu hình mặc định TTL = 127, tất cả nút là nút chuyển tiếp, PDR chỉ đạt 96.67%.

## 5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Bài báo này đã mô phỏng một hệ thống mạng Bluetooth mesh trong môi trường trong nhà sử dụng công cụ MATLAB. Kết quả thu được từ mô phỏng là tỉ lệ chuyển giao gói tin với một số kịch bản thay đổi về cấu hình giá trị TTL và tính năng chuyển tiếp khác nhau. Với sự trợ giúp của công cụ mô phỏng, các kịch bản được thử nghiệm một cách dễ dàng hơn. Từ kết quả của các kịch bản này đã cho thấy rằng cấu hình giá trị TTL và tính năng chuyển tiếp có ảnh hưởng nhiều tới tỉ lệ chuyển giao gói tin; cần phải có sự lựa chọn đồng thời giá trị TTL và tính năng chuyển tiếp phù hợp để giúp hệ thống có thể đạt được tỉ lệ chuyển giao gói tin tốt. Vấn đề này là cơ sở cho hướng phát triển tiếp theo của bài báo, đó là cần phát triển thuật toán tự cấu hình mà đối với một mạng Bluetooth mesh bất kỳ, thuật toán sẽ giúp hệ thống tự đưa ra được các cấu hình TTL và tính năng chuyển tiếp phù hợp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. "Bluetooth Mesh Networking: Paving the Way for Smart Lighting." [Online]. Available: [https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth-Mesh-Paving-the-Way-for-Smart-Lighting\\_FINAL.pdf](https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth-Mesh-Paving-the-Way-for-Smart-Lighting_FINAL.pdf)
- [2]. Jason Marcel, "Why Wireless Control Networks Are Taking Over Commercial Lighting," May 05, 2021. <https://www.bluetooth.com/blog/why-wireless-control-networks-are-taking-over-commercial-lighting/>
- [3]. W. S. Jang and W. M. Healy, "Wireless sensor network performance metrics for building applications," Energy Build., vol. 42, no. 6, pp. 862–868, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.12.008.
- [4]. W. Kasch, J. Ward, and J. Andrusenko, "Wireless network modeling and simulation tools for designers and developers," IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 3, pp. 120–127, Mar. 2009, doi: 10.1109/MCOM.2009.4804397.
- [5]. Angela Hernandez-Solana, D. Perez-Diaz-De-Cerio, M. Garcia-Lozano, A. V. Bardaji, and J.-L. Valenzuela, "Bluetooth Mesh Analysis, Issues, and Challenges," IEEE Access, vol. 8, pp. 53784–53800, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980795.
- [6]. "Mesh Profile 1.0.1." [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/mesh-profile-1-0-1/>
- [7]. "Mesh Model 1.0.1." [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/>
- [8]. R. Shavelis and K. Ozols, "Bluetooth Low Energy Wireless Sensor Network Library in MATLAB Simulink," J. Sens. Actuator Netw., vol. 9, no. 3, p. 38, Aug. 2020, doi: 10.3390/jsan9030038.
- [9]. "Bluetooth Support from Communications Toolbox." [Online]. Available:

<https://www.mathworks.com/hardware-support/bluetooth.html>

- [10]. "Estimate Packet Delivery Ratio in Bluetooth Mesh Network." [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/comm/ug/Modeling-Multi-Node-Bluetooth-Mesh-Network-using-Discrete-Event-Simulation.html>

### **ABSTRACT**

#### **Evaluating the packet delivery ratio in indoor smart lighting system using Bluetooth mesh communication**

*Nowadays, Bluetooth mesh is widely used in indoor lighting systems. The packet delivery ratio is an important parameter to evaluate the quality of a wireless network. In Bluetooth mesh, there are many configurations and parameters affecting this ratio. This paper will use a simulation tool to simulate a smart indoor lighting system with the change of TTL (Time-To-Live) configuration and relay feature, thereby evaluating the influence of these configurations on the packet delivery ratio.*

**Keywords:** Wireless communication; Bluetooth mesh; Smart lighting.